

Διασφάλιση της ακρίβειας των μετρήσεων της συγκέντρωσης ραδιονουκλιδίων σε βιολογικά δείγματα μέσω του διεθνούς δικτύου **PROCORAD**

Κ. Κεχαγιά, Δ. Ξαρχουλάκος, Μ. Κολοβού, Γ. Τακούδης και Κ. Ποτηριάδης

Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Τ.Θ. 60092, 15310 Αγία Παρασκευή, Αττική

e-mail: kkehagia@eeae.gr

Περίληψη

Το Τμήμα Ελέγχου Ραδιενέργειας Περιβάλλοντος της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) εκτός των μετρήσεων που αφορούν το περιβάλλον, απομονώνει και μετρά ραδιονουκλίδια σε δείγματα ούρων και κοπράνων, με σκοπό τον προσδιορισμό της δόσης λόγω εσωτερικής ακτινοβολήσης.

Για την διασφάλιση της ορθότητας και της ποιότητας αυτών των μετρήσεων, η ΕΕΑΕ είναι μέλος του διεθνούς δικτύου PROCORAD (Association for the Promotion of Quality Controls in Radiotoxicological Bioassays) από το 2002. Το PROCORAD διοργανώνει ετησίως ραδιοτοξικολογικές, διεργαστηριακές μετρήσεις, προκειμένου να αξιολογήσει την ποιότητα αποτελεσμάτων εσωτερικής έκθεσης και να προωθήσει την ορθή εργαστηριακή πρακτική. Ιδρύθηκε το 1995 και τα μέλη του προέρχονται από 21 χώρες. Τα δείγματα ούρων και κοπράνων αποστέλλονται ετησίως σε 71 εργαστήρια παγκοσμίως. Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων των συμμετεχόντων υπόκειται σε στατιστική επεξεργασία με το PROCOSTAT, λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε ειδικά για το PROCORAD. Μετά από 3 έως 5 στατιστικές δοκιμές καθορίζεται ποια αποτελέσματα είναι εντός ή εκτός του εύρους τιμών.

Η ΕΕΑΕ παραλαμβάνει 25 δείγματα ετησίως που καλύπτουν όλο το φάσμα των α,-β,- και γ,- εκπομπών. Τα δείγματα μετριούνται με α,-και γ,-φασματοσκοπία καθώς επίσης και με υγρό σπινθηριστή, αφού πρώτα υποστούν χημική επεξεργασία.

Σκοπός της εργασίας αυτής είναι η παρουσίαση της όλης διαδικασίας από την αποστολή των δειγμάτων, την παραλαβή, ανάλυση και μέτρηση μέχρι και την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων και την έκδοση αυτών. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην ιχνηλασιμότητα των δοκιμών, στην επαναληψιμότητα, αβεβαιότητα, στα ελάχιστα όρια ανίχνευσης, στην ακρίβεια των μετρήσεων καθώς επίσης και στα πρότυπα και τις πηγές που χρησιμοποιούνται για την βαθμονόμηση των οργάνων.

Λέξεις-Κλειδιά: PROCORAD, διεργαστηριακές μετρήσεις, ραδιενέργεια, βιολογικά δείγματα.

Κ. Κεχαγιά, Δ. Ξαρχουλάκος, Μ. Κολοβού, Γ. Τακούδης και Κ. Ποτηριάδης

Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, Τ.Θ. 60092, 15310 Αγία Παρασκευή, Αττική

Διασφάλιση της ακρίβειας των μετρήσεων της συγκέντρωσης ραδιονουκλιδίων σε βιολογικά δείγματα μέσω του διεθνούς δικτύου PROCORAD

5^ο Τακτικό Εθνικό Συνέδριο Μετρολογίας, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Αθήνα, 9-10 Μαΐου 2014

Abstract

The Department of Environmental Radioactivity Monitoring of GAEC performs, besides measurements relating to the environment, also measurements of radionuclides in urine and faecal ashes samples, in order to determine the dose due to internal irradiation.

In order to ensure the accuracy and quality of these measurements GAEC is a member of the international network PROCORAD (Association for the Promotion of Quality Controls in Radiotoxicological Bioassays) since 2002. PROCORAD organizes annually, radiotoxicological intercomparisons in order to evaluate the quality of medical analysis results and to promote good laboratory practice. These intercomparison exercises make it possible to keep up with laboratory know-how and provide an opportunity to compare and contrast radiochemistry and metrology for the in vitro analysis of urine and faeces. The intercomparison exercises concerning urine and faecal ashes samples are proposed to the 71 participating laboratories from 21 countries. Each year, the samples are sent at the end of February to the participants'. A scientific meeting is organized during the Association's General Assembly. The meeting is devoted to the presentation of the intercomparison results and the technical discussion that follows each presentation. Emphasis is given in standardized presentations and result summaries, comparison of the results with target and means values, statistical diagrams, source preparation methods and certification of source activity, range of analytical methods used, discussion on potential technical improvements as well as in presentation of current radiotoxicological research themes.

A data calculation and processing programme developed specifically for PROCORAD, called PROCOSTAT©, is used to ensure a consistent statistical exploitation of the participants' results. During the month of October, a final report gathering all the results is available to all the participants.

GAEC analyses about 25 PROCORAD samples per year, covering the whole range of α -, β - and γ - emitters. The samples are measured by means of α -, γ - spectrometry as well as by liquid scintillation counting having first been chemically treated.

The purpose of this paper is to present the whole process beginning from the sending and reception of the samples, following by the analysis and measurement of them, till to the evaluation and reporting of the results. Particular emphasis is given to the traceability of the tests, the reproducibility of the measurements, the uncertainties, the minimum detection limits, the accuracy of the measurements as well as to the standards and sources used for the calibration of the instruments.

Keywords: PROCORAD, intercomparison exercises, radioactivity, biological samples.

1. Εισαγωγή

Το δίκτυο PROCORAD ξεκίνησε από την Γαλλία. Σε περιοχές που υπάρχουν πυρηνικές εγκαταστάσεις συνυπάρχουν συνήθως και εργαστήρια που αναλαμβάνουν την υποχρέωση της παρακολούθησης της εσωτερικής δόσης των εργαζομένων. Από το 1977, βάση νόμου τα εργαστήρια αυτά στη Γαλλία είναι υποχρεωμένα να ελέγχουν την ποιότητα των αποτελεσμάτων στα βιολογικά δείγματα των εργαζομένων στις πυρηνικές εγκαταστάσεις. Ραδιοχημικοί ξεκίνησαν με δική τους πρωτοβουλία να οργανώνουν ασκήσεις διασύγκρισης ακολουθώντας το μοντέλο που τους είχε υποδείξει το γαλλικό Υπουργείο Υγείας. Η πρώτη άσκηση διαβαθμονόμησης έλαβε χώρα το 1978 και συμμετείχαν αποκλειστικά εργαστήρια της Γαλλίας. Με τα χρόνια προστέθηκαν και εργαστήρια του εξωτερικού. Το ενδιαφέρον συμμετοχής και εργαστηρίων εκτός των συνόρων της Γαλλίας, ήταν η αφορμή της δημιουργίας του μη κερδοσκοπικού δικτύου PROCORAD (Association for the PRoMotion of Quality COntrols in RADiotoxicological Bioassay) τον Νοέμβριο του 1995 (www.procorad.org).

2. PROCORAD: διεθνές δίκτυο για την διασφάλιση της ποιότητας μετρήσεων

2.1 Δομή και λειτουργία του PROCORAD

Ιδρυτές του PROCORAD ήταν ο σύνδεσμος βιολόγων της γαλλικής πυρηνικής βιομηχανίας (ABNF), η Επιτροπή για την Πυρηνική Ενέργεια (CEA) και η εταιρεία πυρηνικών υλικών Cogema που σήμερα ονομάζεται AREVA. Αν και το PROCORAD αποτελεί πια ένα διεθνές δίκτυο, η ευθύνη της καλής λειτουργίας του οργανισμού παραμένει στα ιδρυτικά του μέλη, που καταλαμβάνουν τις θέσεις του διοικητικού συμβουλίου και του γενικού γραμματέα. Στο δμελές επιστημονικό συμβούλιο μπορεί να συμμετάσχουν και μέλη από άλλες χώρες. Όλα τα συμμετέχοντα εργαστήρια έχουν δικαίωμα ψήφου στην ετήσια συνάντηση. Κάθε εργαστήριο μπορεί να εκπροσωπηθεί από δύο μέλη, τα οποία καθορίζονται ονομαστικά. Η ετήσια συνάντηση, γίνεται στο πλαίσιο ενός 3ημερου συνεδρίου κατά το οποίο συζητούνται τα αποτελέσματα των ασκήσεων και διάφορα επιστημονικά θέματα που αφορούν τις αναλύσεις και τις μετρήσεις των δειγμάτων (Berard, Hill & Kehagia).

2.2 Ετήσιες ασκήσεις διασύγκρισης

Η διεξαγωγή των ασκήσεων ακολουθεί ένα σταθερό ετήσιο κύκλο:

- Δήλωση συμμετοχής τον Νοέμβριο του προηγούμενου έτους.
- Αποστολή των δειγμάτων τον Φεβρουάριο.
- Επεξεργασία των δειγμάτων στα συμμετέχοντα εργαστήρια και ηλεκτρονική αποστολή των αποτελεσμάτων τέλος Απριλίου.

- Εκτίμηση των αποτελεσμάτων από το PROCORAD τον Μάιο.
- Γνωστοποίηση των αποτελεσμάτων στα συμμετέχοντα εργαστήρια κατά την διάρκεια της ετήσιας συνάντησης τον Ιούνιο.
- Αποστολή επίσημης έκθεσης των αποτελεσμάτων της διασύγκρισης συμπεριλαμβανομένων των μεθόδων ανάλυσης εργαστηρίων που διακρίθηκαν, τον Οκτώβριο.

Τα σετ των δειγμάτων που προσφέρονται προς ανάλυση είναι τα εξής:

- Ουράνιο σε ούρα
- Ακτινίδες σε ούρα πλην του ουρανίου
- Ακτινίδες σε κόπρανα
- Τρίτιο σε ούρα
- Άνθρακας-14 σε ούρα
- Θείο-35 σε ούρα, μείγμα H-3, C-14 και S-35
- Πολώνιο-210 σε ούρα
- Γάμμα εκπομποί σε ούρα (Cs-137, Cs-134, Eu-152, Co-60, Co-57, I-129, κ.λ.π.)
- Στρόντιο-90 σε ούρα
- Δείγμα που μπορεί να περιλαμβάνει οποιοδήποτε α-, β-, ή γ-εκπομπό.

Κάθε σετ μπορεί να περιλαμβάνει από 3-6 δείγματα. Τα συμμετέχοντα εργαστήρια μπορούν να επιλέξουν κάποια ή και όλα τα δείγματα για ανάλυση.

2.3 Προετοιμασία και παρασκευή δειγμάτων

Τα δείγματα προς διασύγκριση ετοιμάζονται, αποστέλλονται λαμβάνοντας υπόψη τους διεθνείς κανονισμούς μεταφοράς ραδιενεργών ουσιών, αξιολογούνται και τα αποτελέσματα τους παρουσιάζονται στην ετήσια συνάντηση από τα παρακάτω 7 εργαστήρια:

- CEA Grenoble
- AREVA NC La Hague
- CEA Cadarache
- CEA Valduc
- CEA-Marcoule
- CEA Saclay
- CEA Fontenay aux Roses

Ο οργανισμός του PROCORAD λειτουργεί κάτω από το ISO 9001:2008. Τα εργαστήρια προετοιμασίας των δειγμάτων τους διαθέτουν ISO EC 17025 (Fottorino et al).

Τα δείγματα συλλέγονται επί 6 μήνες και προέρχονται από εθελοντές εργαζόμενους, οι οποίοι δεν πάσχουν από κάποια αρρώστια ή έχουν ρυπανθεί κατά το παρελθόν. Τα ούρα συγκεντρώνονται σε βαρέλια των 250 L, ομογενοποιούνται και το pH ρυθμίζεται μεταξύ 1.5-2.0. Στατιστικές δοκιμές πραγματοποιούνται για τον έλεγχο της ομογενοποίησης των δειγμάτων. Για τη συντήρηση προστίθενται 50 ml νιτρικού οξέος ανά λίτρο ούρων. Στη

συνέχεια ογκομετρούνται 500 ml δείγματος και μεταφέρονται σε δοχεία πολυαιθυλενίου που κλείνουν ερμητικά. Η ιχνηθέτηση γίνεται σε κάθε δείγμα ξεχωριστά με αυτόματη βαθμονομημένη πιπέττα, ακρίβειας < 1%. Τα ραδιονουκλίδια-ιχνηθέτες προέρχονται από το NIST. Ο αναλυτής προσδιορίζει την ενεργότητα σε Bq/δείγμα. Το σετ των δειγμάτων περιλαμβάνει πάντα και ένα δείγμα μη ιχνηθετημένο.

Τα δείγματα “ακτινίδες σε κόπρανα” αποτεφρώνονται και ιχνηθετούνται ανά δείγμα των 2.5 g με την προσθήκη τεχνιτών ραδιονουκλιδίων όπως Pu-239, Pu-238 και Am-241. Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης των ισοτόπων του ουρανίου και του θορίου αναφέρεται στη φυσική τους περιεκτικότητα στα κόπρανα.

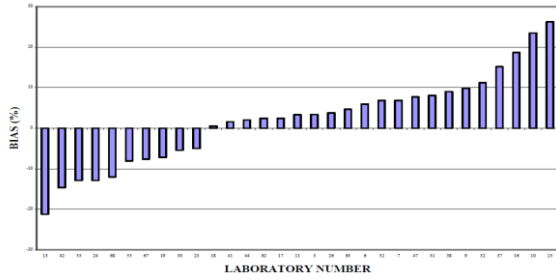
Ανάλογα με το είδος των εκπομπών και την συγκέντρωσή τους τα συμμετέχοντα εργαστήρια εφαρμόζουν διάφορες αναλυτικές ραδιοχημικές μεθόδους απομόνωσης των ραδιονουκλιδίων και τεχνικές μέτρησης όπως α-φασματοσκοπική ανάλυση και φασματοσκοπία μάζας για τους άλφα εκπομπούς, υγρό σπινθηριστή για τους βήτα και γ-φασματοσκοπία για τους γάμμα εκπομπούς. Οι ενεργότητες στους α-εκπομπούς είναι της τάξεως των mBq ενώ στους β- και γ- εκπομπούς ανέρχονται σε Bq. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων δίνονται στη μορφή $X.XX \text{ E} \pm YY \text{ Bq} \cdot \text{Sample}^{-1}$. Η ανεπτυγμένη αβεβαιότητα των μετρήσεων δίνεται σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95% (2σ).

3. Στατιστική ανάλυση

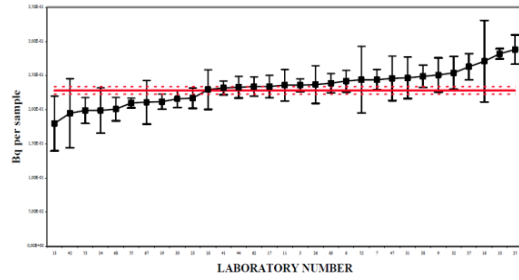
Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων από τα εργαστήρια του PROCORAD βασίζεται στο ISO 13528:2005 “Statistical methods for the use in proficiency testing by interlaboratory comparisons” καθώς επίσης και στο PROCOSTAT, λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε ειδικά για το PROCORAD. Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων γίνεται για κάθε δείγμα και κάθε ραδιονουκλίδιο ξεχωριστά. Τα δεδομένα αναλύονται για τα ακόλουθα χαρακτηριστικά (Berard and Frank):

- Αριθμός των συμμετεχόντων εργαστηρίων
- Αριθμός των εκτός του εύρους τιμών ευρισκομένων εργαστηρίων.
- Αριθμός των εκτός του εύρους τιμών αποτελεσμάτων.
- Μέσος όρος της ενεργότητας
- Τιμή αναφοράς
- Τιμή αβεβαιότητας
- Αριθμητικός και γεωμετρικός μέσος

Το PROCOSTAT, εφαρμόζοντας στατιστικές δοκιμές όπως Grubbs`s test, Dixon`s test, Z-score και Zeta-score test, καθορίζει ποια αποτελέσματα είναι εκτός του εύρους τιμών και αποκλείονται από τη στατιστική αξιολόγηση. Το πρόγραμμα παρέχει την δυνατότητα δημιουργίας γραφικών παραστάσεων διαφορετικών τύπων, που εμπεριέχουν λεπτομερή στοιχεία για κάθε εργαστήριο καθώς επίσης και τα προαναφερόμενα χαρακτηριστικά. Παραδείγματα τέτοιων παραστάσεων απεικονίζονται στα σχήματα 1,2 & 3.



Σχήμα 1: Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά εργαστήριο: σχετικό συστηματικό σφάλμα (bias) σε μετρήσεις συγκέντρωσης U-234 σε ούρα (2007)



Σχήμα 2: Παρουσίαση αποτελεσμάτων ανά εργαστήριο: τιμές συγκεντρώσεων σε U-238 σε ούρα και οι αντίστοιχες αβεβαιότητες (2007)

Num. Lab.									
						63			
						52			
	68					62	26	47	
	53	67				44	11	38	
	42	55	30			41	7	32	
						18	6	31	25
13	24	19	23			17	3	9	37
									16
									10
18E-01	>19E-01	>2.02E-01	>2.02E-01	>2.23E-01	>2.34E-01	>2.45E-01	>2.56E-01	>2.67E-01	>2.77E-01
<=19E-01	<=2.02E-01	<=2.02E-01	<=2.23E-01	<=2.34E-01	<=2.45E-01	<=2.56E-01	<=2.67E-01	<=2.77E-01	<=2.88E-01
column with target value									
Classes									

Σχήμα 3: κατηγοριοποίηση των εργαστηρίων σε ομάδες. Με σκίαση σημειώνεται η ομάδα που είναι πλησίον της τιμής αναφοράς (2007)

4. Επιλογή των καλύτερων τεχνικών απομόνωσης ραδιονουκλιδίων

Η επιλογή των καλύτερων αναλυτικών τεχνικών για την δημοσίευσή τους στα ετήσια πρακτικά του PROCORAD γίνεται δια της σύγκρισης των αποτελεσμάτων του κάθε εργαστηρίου με την τιμή αναφοράς. Το εύρος τιμών που γίνεται αποδεκτό από το επιστημονικό συμβούλιο υπολογίζεται από τις παρακάτω εξισώσεις και καθορίζεται από τον πίνακα 1:

1. Σχετικό συστηματικό σφάλμα μέτρησης B_{ri}

$$B_{ri} = \frac{(A_i - A_{ai})}{A_{ai}} \times 100$$

A_i = αποτέλεσμα του εργαστηρίου εφαρμόζοντας αυτή την τεχνική

A_{ai} = τιμή αναφοράς

2. Μέσο σχετικό συστηματικό σφάλμα μέτρησης B_r

$$B_r = \bar{B}_{ri} = \frac{\sum_{i=1}^n (B_{ri})}{n} \times 100$$

n = αριθμός δειγμάτων

3. Απόλυτη τιμή σχετικού συστηματικού σφάλματος μέτρησης B_A

$$B_A = \frac{\sum_{i=1}^n |B_{pi}|}{n} \times 100$$

n = αριθμός δειγμάτων

Για την επιλογή μιας μεθόδου πρέπει να εκπληρώνονται τα παρακάτω κριτήρια:

- Πρέπει να δοθεί ένα αποτέλεσμα για κάθε δείγμα που έχει σταλεί.
- Να μην έχει αποκλειστεί ο συμμετέχων από καμία άλλη άσκηση διασύγκρισης
- Τα αποτελέσματα να κυμαίνονται εντός των αποδεκτών ορίων τιμών B_{pi} , B_r , B_A .

Αυτές οι τιμές καθορίζονται για κάθε άσκηση διασύγκρισης λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο της ενεργότητας, τον αριθμό των δειγμάτων και τον αριθμό των ραδιοϊσοτόπων προς ανάλυση.

Το κριτήριο επιλογής ισχύει για την συγκεκριμένη μέτρηση ενός συγκεκριμένου ισοτόπου ενός στοιχείου και όχι για τα αποτελέσματα όλων των χαρακτηριστικών ισοτόπων όλων των στοιχείων που έχουν μετρηθεί στα διάφορα δείγματα (Berard, Fottorino & Millot).

Σε περίπτωση που κανένα από τα εργαστήρια δεν εκπληρώνει τα παραπάνω κριτήρια, δεν επιλέγεται κανένα “ως το καλύτερο της χρονιάς”.

Οι τιμές για το μέσο συστηματικό σφάλμα μέτρησης των ραδιονουκλιδίων στα δείγματα καθορίζεται κάθε χρόνο εκ νέου. Ο επανακαθορισμός τους εξαρτάται από την ενεργότητα των ραδιονουκλιδίων στο δείγμα και από τον αριθμό τους (πίνακας 1).

Πίνακας 1: Επιτρεπτό εύρος τιμών του μέσου και μέγιστου συστηματικού σφάλματος μέτρησης για τα ραδιονουκλίδια του κάθε δείγματος (2010).

Ραδιονουκλίδιο/δείγμα	Μέσο συστηματικό σφάλμα μέτρησης ως προς την τιμή αναφοράς	Μέγιστο συστηματικό σφάλμα μέτρησης ως προς την τιμή αναφοράς
Τρίτιο / ούρα	± 1.0%	± 1.0%
Οργανικά δεσμευμένο τρίτιο / ούρα	± 2.5%	± 5.0%
Άνθρακας-14 / ούρα	± 2.0%	± 3.0%
>100 keV γ-εκπομπών/ούρα	± 10.0%	± 10.0%
Στρόντιο-90/ούρα	± 2.5%	± 5.0%
Ουράνιο με ICP-MS/ούρα	± 2.5%	± 10.0%
Ουράνιο με α-φασματοσκοπία/ούρα	± 2.5%	± 10.0%
Πλουτόνιο/ούρα	± 2.5%	± 10.0%

Αμερίκιο/ούρα	± 2.5%	± 10.0%
Πλουτόνιο-διάλυμα αναφοράς	± 1.0%	± 1.0%
Πλουτόνιο-αμερίκιο/κόπραννα	± 2.5%	± 10.0%
Ουράνιο/ούρα	± 2.5%	± 10.0%
Θόριο/ούρα	± 5.0%	± 10.0%
Πολώνιο-210/ούρα	± 5.0%	± 5.0%

5. Ετήσια συνάντηση του PROCORAD

Κάθε χρόνο την τελευταία εβδομάδα του Ιουνίου λαμβάνει χώρα μια συνάντηση των μελών. Ο τόπος της συνάντησης καθορίζεται ένα χρόνο πριν και πρόκειται για χώρα από την οποία προέρχεται κάποιο μέλος, ώστε να αναλάβει και το κύριο μέρος της οργάνωσης. Περίπου 71 εργαστήρια από 21 κράτη όλου του κόσμου παίρνουν μέρος. Ο κύριος στόχος της συνάντησης είναι η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Κάθε ένα από τα 7 γαλλικά εργαστήρια παρουσιάζουν για τα δείγματα που τους αφορούν; τον τρόπο προετοιμασίας τους και τα αποτελέσματα βάσει των αποτελεσμάτων που έχουν λάβει από τους συμμετέχοντες. Η ταυτοποίηση των συμμετεχόντων εργαστηρίων γίνεται μέσω ενός αριθμού, ο οποίος αλλάζει κάθε χρόνο. Σκοπός της συνάντησης δεν είναι μόνο η ανακοίνωση και εξέταση των αποτελεσμάτων αλλά και συζητήσεις για την βελτίωση της ποιότητας των μετρήσεων μέσω αναλυτικών τεχνικών και καινούργιων μεθόδων απομόνωσης. Επίσης η παρουσίαση επιστημονικών εργασιών και επίκαιρων θεμάτων από τα μέλη, την οργανωτική επιτροπή ή το επιστημονικό συμβούλιο αποτελούν ένα μεγάλο κομμάτι της ετήσιας συνάντησης.

6. Επεξεργασία των δειγμάτων στην ΕΕΑΕ

Το τμήμα Ελέγχου Ραδιενέργειας της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας είναι μέλος του δικτύου PROCORAD από το 2002. Τα τελευταία χρόνια το εργαστήριο παραλαμβάνει και αναλύει όλα τα δείγματα που προσφέρει το δίκτυο. Έχει χαρακτηριστεί 3 φορές έως τώρα σαν το καλύτερο εργαστήριο της χρονιάς “Best Laboratory”.

Δεδομένου ότι το εργαστήριο εφαρμόζει σύστημα διαχείρισης ποιότητας, εξασφαλίζει την ακρίβεια, την ιχνηλασιμότητα και επαναληψιμότητα των αναλύσεων και μετρήσεων. Υπολογίζει σχολαστικά το αποτέλεσμα κάθε μέτρησης, την αβεβαιότητα και τα ελάχιστα όρια ανίχνευσης βάση του ISO11929. Η βαθμονόμηση των οργάνων ελέγχεται συστηματικά με πρότυπες πιστοποιημένες πηγές.

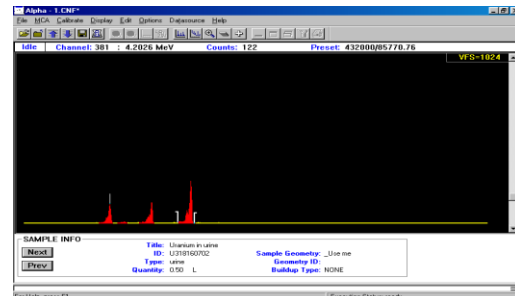
Οι μέθοδοι μέτρησης που εφαρμόζονται στο ΤΕΠΠ είναι:

Α-φασματοσκοπία για τους α-εκπομπούς. Οι ιχνηθέτες που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό της ενεργότητας των ραδιονουκλιδίων είναι Th-229, U-232, Pu-242, Am-

243 και Po-209. Για την βαθμονόμηση του οργάνου AANALYST της CANBERRA με 12 ανιχνευτές πυριτίου, χρησιμοποιείται πηγή Pu-239/Am-241/Cm-244. Η προμήθεια των ιχνηθετών και της πηγής είναι από το NIST (National Institute for Standards). Τα δείγματα υπόκεινται σε ραδιοχημική επεξεργασία (σχήμα 4) πριν την μέτρηση τους (σχήμα 5).



Σχήμα 4: αποτέφρωση ούρων



Σχήμα 5: α-φασματοσκοπική ανάλυση ουρανίου σε ούρα

Γ-φασματοσκοπία για τους γ-εκπομπούς. Το ΤΕΡΠΠ διαθέτει 2 υπερκαθαρούς ανιχνευτές γερμανίου HPGe (Canberra) με σχετική απόδοση 70% και 50%. Για την ανάλυση των φασμάτων χρησιμοποιείται το λογισμικό Genie. Για την ενεργειακή βαθμονόμηση χρησιμοποιούνται μικτές πηγές (Am-241, Pb-210, Cd-109, Ce-139, Cs-137, Co-57, Co-60, Y-88, Sn-113, Sr-85) διαφορετικών πυκνοτήτων: α) 0.04-2 g/cm³ για γεωμετρία 260 ml και β) 0.4-3 g/cm³ για γεωμετρία 100 ml. Οι πηγές είναι βαθμονομημένες κατά NIST.

Β-εκπομποί μετρώνται με υγρό σπινθηριστή υψηλής ευκρίνειας (Quantulus) με όρια ανίχνευσης κάτω του 1 Bq. Οι καμπύλες απόσβεσης (quench curve) για τα: H-3, C-14, Sr-90 και S-35 έχουν προσδιοριστεί με τη χρήση προτύπων, που έχουν προμηθευτεί από το NIST.

7. Συμπεράσματα

Οι ασκήσεις διασύγκρισης που προσφέρονται από το διεθνές δίκτυο PROCORAD συντελούν στην διατήρηση της υψηλής ποιότητας των ραδιοτοξικολογικών αναλύσεων σε βιολογικά δείγματα στα συμμετέχοντα εργαστήρια.

Η δημιουργία προσωπικών επαφών μεταξύ των εργαστηρίων διευκολύνει τις συνεργασίες πέραν των συνόρων σε περιπτώσεις ανταλλαγής επιστημονικών απόψεων αλλά και έκτακτης ανάγκης.

Η συνεχής και επιτυχής συμμετοχή σε ένα τέτοιο διεθνές δίκτυο αποδεικνύει την ορθή λειτουργία του συστήματος ποιότητας ενός εργαστηρίου.

Βιβλιογραφία

Berard, Ph. and Franck D., “National and international interlaboratories comparisons: a tool for the validation of in vitro and in vivo methods”, Radiation Protection Dosimetry, vol. 144, Issue 1-4 p.p. 287-290, 2011.

Berard P, Hill P. and Kehagia K., “PROCORAD – Ein internationales Netzwerk zur Qualitätssicherung“, Strahlenschutzpraxis, p.p. 69-73, 1/2011.

Berard Ph., Fottorino R. and Millot X., “PROCORAD's proficiency tests as a means of analyzing capacities in emergency situations”, Health Phys. 101(2), p.p. 136-9, 2011.

Fottorino R., Ruffin M. and Bérard Ph., “PROCORAD's international proficiency testing for radio-bioassays”, International Journal of Metrology and Quality Engineering, vol. 1, Issue 02, p.p. 99-103, 2010.

www.procorad.org